

# **Měření těsnosti objektů**

## **Blower Door Test**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 5. května 2011

.....

Rád bych tímto poděkoval doc. Mgr. Jiřímu Dvorskému, Ph.D. za vedení mé práce a za rady, které mi poskytl během mé práce.

## **Abstrakt**

V této diplomové práci popisuji návrh a vývoj zařízení a softwaru pro automatické měření těsnosti objektů. K aplikaci pro operační systém Windows jsem použil .NET Frameworku a programovacího jazyka C#. Pro mobilní zařízení Apple iPhone využívám programovacího jazyka ActionScript 3. Po vytvoření měřícího zařízení a softwaru bylo vše otestováno a provedeno měření v praxi.

**Klíčová slova:** měření těsnosti objektů

## **Abstract**

This thesis describes the development of equipment and software for automatic measurement of air leakage in buildings. I used .NET Framework and C# programming language for Windows version of this application and ActionScript 3 for mobile devices with Apple iOS operating system. The solution was tested in practice.

**Keywords:** blower door test

## Seznam použitých zkratk a symbolů

HW	– Hardware
BD	– Blower Door
AMTS	– Automatické Měření Těsnosti Staveb
WIFI	– Wireless Fidelity
AP	– Acces Point
USB	– Universal Serial Bus
LGPL	– Lesser GNU Public License
DLL	– Dynamic Link Library
XML	– Extensible Markup Language
ČSN	– Česká státní norma
Pa	– jednotka tlaku Pascal
.amt	– soubor, uložený výstup a nastavení programu AMTS
IP	– Internet Protocol
DHCP	– Dynamic Host Configuration Protocol
DPS	– Deska plošných spojů
CLR	– Common Language Runtime
AS	– ActionScript
PDF	– Package Definition File
SSID	– Service Set Identifier
AP	– Acces point
MS	– Microsoft
CD	– Compact Disk

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>6</b>
1.1	Výhody objektu splňující vzduchotěsnost . . . . .	7
1.2	Vliv těsnosti na energetiku . . . . .	7
1.3	Cíl práce . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Princip měření vzduchotěsnosti objektu</b>	<b>8</b>
2.1	Typy měření . . . . .	9
2.2	Postup měření . . . . .	10
2.3	Jak nalézt netěsnosti . . . . .	10
2.4	Výpočet tepelné ztráty . . . . .	11
2.5	Legislativa . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Analýza a návrh komponent pro měření</b>	<b>15</b>
3.1	Návrh zařízení . . . . .	15
3.2	Výběr ventilátoru . . . . .	15
3.3	Ovládání ventilátoru . . . . .	16
3.4	Měření průtoku vzduchu . . . . .	16
3.5	Měření tlaku uvnitř objektu . . . . .	18
3.6	Měření venkovní teploty a teploty uvnitř objektu . . . . .	19
3.7	Návrh celého zařízení . . . . .	19
3.8	Rám pro montáž zařízení . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Elektronika</b>	<b>21</b>
4.1	Mikroprocesor . . . . .	21
4.2	Komunikace s mikroprocesorem . . . . .	23
4.3	Ovládání elektroniky z PC . . . . .	26
4.4	Software mikroprocesoru . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Návrh softwaru pro Microsoft Windows</b>	<b>30</b>
5.1	.NET Framework . . . . .	30
5.2	Funkce softwaru . . . . .	30
5.3	Rozdělení tříd . . . . .	31
5.4	Návrh grafického rozhraní . . . . .	33
5.5	Ukládání dat z programu . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Návrh softwaru pro Apple iPhone</b>	<b>37</b>
6.1	Seznam funkcí softwaru . . . . .	38
6.2	Ukázka uživatelského rozhraní . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Měření v praxi</b>	<b>41</b>
7.1	Příprava měření . . . . .	43
7.2	Vyhodnocení výsledků . . . . .	43

<b>8 Závěr</b>	<b>45</b>
<b>9 Reference</b>	<b>46</b>
<b>Přílohy</b>	<b>46</b>
<b>A Obsah přiloženého CD</b>	<b>47</b>
<b>B Protokol z měření</b>	<b>48</b>

## Seznam tabulek

1	Náklady na vytápění . . . . .	13
2	Srovnání norem ČR, Slovenska, Německa a Rakouska . . . . .	14
3	Seznam kódů pro nastavení elektroniky . . . . .	27
4	Seznam kódů při čtení z elektroniky . . . . .	28
5	Obsah přiloženého CD . . . . .	47



## Seznam obrázků

1	Princip měření vzduchotěsnosti budovy . . . . .	8
2	Termovizní kamera . . . . .	12
3	Schéma připojení měřicího zařízení . . . . .	15
4	Navržené měřicí zařízení . . . . .	19
5	Blokové schéma propojení všech elektronických součástí . . . . .	21
6	Schéma připojení mikroprocesoru . . . . .	22
7	Schéma připojení USB převodníku . . . . .	24
8	Schéma připojení modulu NanoSocketLAN . . . . .	24
9	Schéma napájecí části . . . . .	25
10	Schéma výstupů pro připojení frekvenčního měniče . . . . .	26
11	Schéma čtení dat . . . . .	27
12	Vývojový diagram softwaru mikroprocesoru . . . . .	29
13	Životní cyklus softwaru pro Windows. . . . .	31
14	Třídní diagram. . . . .	32
15	Princip automatického měření. . . . .	33
16	Hlavní okno programu pro Windows. . . . .	34
17	Ukázka souboru <i>nastavení.xml</i> . . . . .	35
18	Vývojový diagram softwaru pro iPhone . . . . .	37
19	Uživatelské rozhraní hlavního okna a nastavení . . . . .	38
20	Řez domem . . . . .	41
21	Půdorys přízemí . . . . .	42
22	Utěsnění krbu a digestoře . . . . .	43
23	Netěsnost u prahu francouzského okna . . . . .	44
24	Naměřená charakteristika těsnosti objektu. . . . .	44

## Seznam výpisů zdrojového kódu

1	Ukázka nastavení otáček ventilátoru . . . . .	36
2	Ukázka výpočtu průtoku ze třídy Mereni . . . . .	36
3	Ukázka funkce hledejTlak() . . . . .	40

## 1 Úvod

V posledních letech je snahou u stavby rodinných domů snížit náklady na spotřebu energie pro vytápění. Tato spotřeba energie se přepočítává na  $\text{kWhm}^{-2}$ . Nízkoenergetické domy mají spotřebu energie do  $50\text{kWhm}^{-2}$ . Domy pasivní mají spotřebu energie do  $15\text{kWhm}^{-2}$ .

Kvalitu domu je možné spočítat podle použitých materiálů, ovšem zjištění, zda dům opravdu této kvality dosahuje, je náročné. Většinou ani není možné kvalitu provedené práce a těsnost objektu ověřit. K dosažení vypočtené spotřeby energie je potřeba vytvořit vzduchotěsnou vrstvu budovy. Taková vzduchotěsní vrstva musí probíhat od spodních kontaktních konstrukcí (např. hydroizolace), přes obvodové stěny (např. kompaktní omítka), po střešní konstrukci v celé její ploše (např. parotěsná folie), a tyto zóny musí být vzduchotěsně napojeny. Tento fakt nic nemění na možnosti vystavět obvodové konstrukce a to včetně střešního pláště jako difúzně otevřenou skladbu materiálů dovolující vodním parám procházet konstrukcí bez dosažení rosného bodu. Pozor, je však nutné rozlišovat pojem vzduchotěsnost<sup>1</sup> a parotěsnost<sup>2</sup>.

Jednou z možných technologií stavby nízkoenergetických domů jsou dřevostavby s použitím konstrukčních velkoformátových křížem lepených panelů z masivního dřeva. Tato technologie je odlišná od klasických rámových systémů a různých roubených typů dřevostaveb. Tyto dřevostavby využívají principu lepeného řeziva pro velkoplošné dílce a jsou charakteristické spotřebou energie v rozmezí  $16 - 31\text{kWhm}^{-2}$  za rok, proto jsou tedy zařazeny do kategorie nízkoenergetické domy. Dále materiál použitý pro stavbu je přírodní dřevo, které je zdraví neškodlivé, teplé a reguluje vlhkost. Také tyto dřevostavby mají vysoký tepelný odpor. Prostor se rychle vyhřeje, teplota povrchu stěn zůstane vysoká, ale do stěn se teplo neakumuluje. U těchto dřevostaveb bývá také malá tloušťka obvodových stěn. Proto mají také tyto dřevostavby větší obytnou plochu při stejné zastavěné ploše oproti zděné stavbě. Rozdíl bývá 8 – 10%. Při stavbě nízkoenergetických domů je kladen důraz na vzduchotěsnost. Jedná se o nejdůležitější faktor pro efektivní minimalizaci tepelných ztrát při vytápění. Hodnota vzduchotěsnosti objektu slouží jako měřítko pro kvalitu stavby.

O vlastnostech domu rozhoduje návrh domu s projektovou dokumentací a především správná realizace a stavební postup bez tepelných mostů. Není v České republice běžné, aby si zadavatel nechal těsnost domu při výstavbě nebo po dokončení měřit. Ve většině se provádí pouze vizuální kontrola, která nemůže plně zhodnotit stav a kvalitu provedení konstrukce, například již zakryté jinými konstrukcemi. K tomuto účelu je vhodné použít test pro měření těsnosti budov (Blower-door test). Tento test ukáže, jak kvalitně byl objekt vytvořen a pomocí tohoto testu je možné i netěsnosti odhalit.

<sup>1</sup>vzduchotěsností - proudění vzduchu netěsnostmi = rychlý transport tepla a vodních par konstrukcí bez kontroly

<sup>2</sup>parotěsností - difúze vodní páry = pomalý proces, rosný bod kontrolován

## 1.1 Výhody objektu splňující vzduchotěsnost

Povede-li se docílit požadované vzduchotěsnosti, může měřený objekt mít tyto vlastnosti:

- úspora energie při vytápění,
- je zabráněno škodám, které by mohly vzniknout sražením vodních par ve stavebních konstrukcích,
- lepší akusticko-izolační vlastnosti,
- zvýšení komfortu bydlení, díky účinnému zabránění nechtěnému proudění chladného vzduchu,
- zvýšená kvalita vzduchu při jeho minimální výměně.

## 1.2 Vliv těsnosti na energetiku

Při projektování budovy nebo domu se prakticky vždy předpokládá 100% provedení a předpokládané tepelné ztráty se počítají podle použitých materiálů. Ovšem při montáži jednotlivých částí konstrukce může dojít k chybě a vzniklá netěsnost v obalovém plášti domu může mít rozhodující vliv na tepelné ztráty a vznik vlhkostních poruch jako jsou vlhké mapy nebo dokonce růst plísní. Netěsnosti také negativně ovlivňují propouštění zvuků z okolí skrz konstrukci.

Tepelné ztráty se projeví ve zvýšení výdajů za energie pro vytápění objektu. Vlhkostní poruchy se projeví esteticky, mohou však ovlivnit ekologii bydlení, a také mohou snížit životnost objektu.

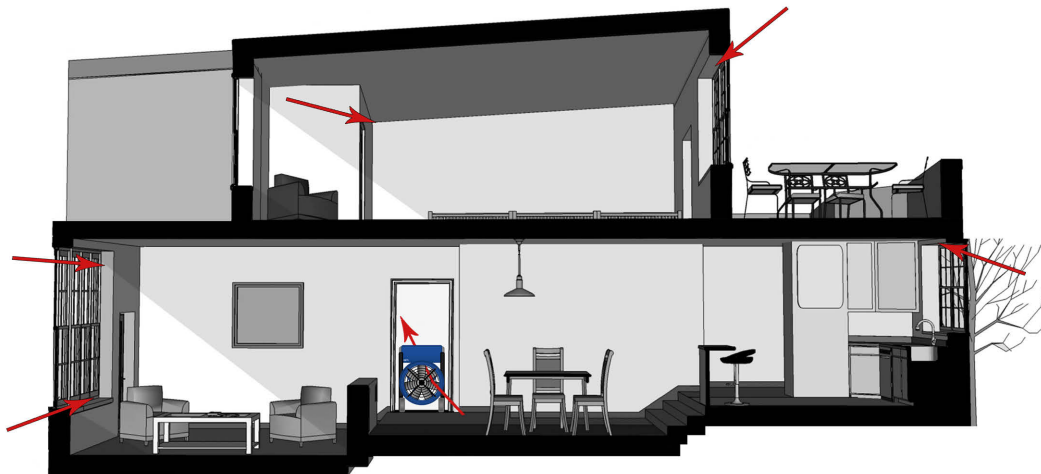
## 1.3 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout zařízení pro automatické měření vzduchotěsnosti objektu.

V této práci navrhne měřicí zařízení pro měření vzduchotěsnosti budov, vytvoříme potřebný hardware a software, aby bylo možné test po patřičném připravení provést automaticky, a nakonec samotný test zrealizujeme v praxi.

## 2 Princip měření vzduchotěsnosti objektu

Princip zkoušky vzduchotěsnosti objektu spočívá ve zjištění objemu vzduchu, který uniká netěsnostmi v plášti budovy.



Obrázek 1: Princip měření vzduchotěsnosti budovy

Zkouška probíhá tak, že ventilátorem se vzduch vhání do objektu anebo z něj (viz Obrázek 1), podle toho, zda chceme vytvořit přetlak anebo podtlak uvnitř měřeného objektu. Po dosažení určitého tlakového rozdílu se začíná provádět měření. Cílem měření je zjištění objemu vzduchu, který je potřeba dodat, aby byl tento rozdíl zachován. Předpokládá se, že objem vzduchu, který po započetí měření dodáme, je roven objemu vzduchu, který unikl netěsnostmi v plášti budovy. Výsledky měření se pak zpracují a stanoví se hodnota násobnosti výměny vzduchu při rozdílu tlaku mezi interiérem a exteriérem 50 Pa ( $n_{50}$ )<sup>3</sup>. Toto měření se několikrát opakuje a postupně se úniky eliminují. Výpočet dodávaného objemu vzduchu se počítá při dosažení rozdílu tlaku v interiéru a exteriéru 50 Pa. Tento tlak je poměrně vysoký. V praxi nastává zřídka, například při nejsilnějších vichřicích a orkánech. Průměrný tlakový rozdíl se pohybuje kolem 4 Pa. Měření při tlaku 50 Pa vyžadují normy a je tento tlak nutný pro přesnější výpočet a přesnější odhalení netěsností. Podle fyzikálních zákonů odpovídá tento tlak síle  $50 \text{ n} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Prakticky se měření bude provádět tak, že se do vstupních dveří domu nainstaluje rám, na kterém bude fólie s otvorem pro ventilátor. Vše kolem bude utěsněno, aby vzduch mohl proudit pouze přes ventilátor. Pomocí ventilátoru dosáhneme potřebného rozdílu tlaku 50 Pa. Poté změříme průtok vzduchu. Tento naměřený průtok vzduchu použijeme pro výpočet násobnosti výměny vzduchu.

<sup>3</sup>intenzita výměny vzduchu

**Požadavky:**

- možnost měření na jakémkoliv místě,
- provádět plně automatické měření,
- uživatelský manuál.

**Vstupy:**

- z diferenčního tlakového snímače získání hodnot tlaku,
- získání aktuální hodnoty průtoku vzduchu,
- z regulátoru ventilátoru získání počtu otáček potřebných pro udržení nastaveného tlaku,
- získání aktuální teploty vzduchu ze snímače teploty.

**Výstupy:**

- hodnota udávající těsnost pláště objektu,
- protokol o měření.

**2.1 Typy měření**

Dle normy ČSN EN 13859 je možné měřit objekt dvěma metodami. Výběr použité metody měření se liší podle stádia, ve kterém se objekt nachází.

**2.1.1 Metoda A**

Měření budovy nebo prostoru v provozním stavu, kterou testovaná budova jako celek v době používání, neprovádí se žádná opatření ke zlepšení těsnosti budovy. Cílem tohoto testu je *vytvoření protokolu o měření průvzdušnosti budovy* s vyjádřením souladu s ČSN 73 0640-2. V tomto případě může být oprava defektního místa velice složitá a poměrně finančně nákladná. U stávajících staveb se měřením kontroluje míra těsnosti, na základě které lze rozhodnout, zda a v jakém rozsahu jsou nutné stavební úpravy. Měření po zakrytí vzduchotěsnících vrstev by měli využít především investoři jako kontrolu kvality celého objektu.

**2.1.2 Metoda B**

Měření obálky budovy nebo prostoru v průběhu výstavby a to v době, kdy je dokončena stavba po instalaci parozábrany (popř. ekvivalentního vzduchotěsnícího opatření), zapravena okna a venkovní dveře, garážová vrata, střešní poklop. Před měřením se uzavřou a utěsní všechny otvory, které nemají ovlivnit výsledky měření, obvykle se jedná

o ventilátory, digestoře, komíny, sifony, prostupy do revizních šachet apod. Cílem tohoto testu je odhalit defekty v těsnosti a zjistit úspěšnost vzduchotěsnících opatření. Toto měření je velice důležité, protože v případě objevení netěsného místa lze bez větších zásahů defektní místo opravit. Toto měření by měly využívat především prováděcí firmy, projektanti a stavební dozor. Toto měření je v průběhu realizace stavby možno provádět vícekrát.

## 2.2 Postup měření

V ČSN 73 0540 jsou uvedeny pouze požadavky a doporučení na těsnost konstrukcí a budov. Platným předpisem, podle kterého lze měřit těsnost konstrukcí a budov je v Evropě, a tedy i v České republice ČSN EN 13859. Jedním ze způsobů měření průvzdušnosti budov, který odpovídá i výše citované normě, je tzv. Blower-Door test.

Při postupu podle metody B začíná měření utěsněním všech otvorů, které nemají ovlivnit měření. Další postup je již pro obě metody stejný. Stanoví se objem měřeného prostoru, plocha podlaží a plocha obálky budovy (prostoru). Do vstupních dveří se osadí rám se vzduchotěsnou plachtou a otvorem pro měřicí zařízení s ventilátorem. Tlakovými čidly se změří počáteční rozdíl tlaku vzduchu mezi interiérem a exteriérem. Následně se do měřeného prostoru vhání nebo se odsává vzduch tak, aby vznikl požadovaný tlakový rozdíl, např. 10 Pa. Zaznamená se objemový tok vzduchu, potřebný pro udržení tohoto tlakového rozdílu. Dále se tlakový rozdíl zvýší (např. na 20 Pa) a opět se měří průtok vzduchu. Tímto způsobem se po cca 5-ti až 10-ti krocích pokračuje po maximální tlakový rozdíl cca 100 Pa. Naměřené hodnoty se vynášejí do grafu. Pokud je měření prováděno správně, lze naměřenými hodnotami proložit regresní přímku. Na regresní přímce se odečte objemový tok vzduchu  $V_{50}$  (objemový tok vzduchu, dodávaný při tlakovém rozdílu interiéru a exteriéru 50 Pa) a podle následujícího vztahu se vypočítá celková výměna vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa:

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} [h^{-1}] \quad (1)$$

kde  $V$  je celkový objem měřeného prostoru. Hodnota  $n_{50}$  se porovná s hodnotami uvedenými v ČSN 73 0540-2 [2].

## 2.3 Jak nalézt netěsnosti

Při metodě B je důležité netěsnosti nalézt, abychom je mohli poté odstranit. Máme tyto možnosti:

### 2.3.1 Holé ruce

Tato metoda patří mezi ty nejjednodušší. V místnosti se vytvoří podtlak například 50 Pa a v místech podezřelých z netěsností se holýma rukama ověřuje proudění vzduchu. Pokud je měření prováděno v zimním období, jsou touto metodou nalezeny i malé netěsnosti.

Výhody: není zapotřebí žádné zařízení, je možné provádět celoročně  
 Nevýhody: pouze lokální kontrola, nemožnost odhalení netěsnosti zakryté jinou konstrukcí

### 2.3.2 Zařízení pro tvorbu kouře

V interiéru se vytvoří kouř a současně se zařízením Blower-Door test vytvoří přetlak. V exteriéru se potom sledují místa, kudy kouř uniká, která signalizují nejpravděpodobnější místo poruch.

Výhody: plošná kontrola konstrukcí  
 Nevýhody: kouř se uvnitř konstrukcí může šířit na poměrně velké vzdálenosti a místo signalizované v exteriéru může být od netěsnosti v interiéru poměrně vzdálené

### 2.3.3 Anemometr

K měření proudění vzduchu je použit anemometr<sup>5</sup>. Systém detekce je stejný jako o metody holé ruce, ovšem místo rukou je použit anemometr.

Výhody: lze provádět celoročně  
 Nevýhody: provádí se pouze lokální kontrola

### 2.3.4 Termovizní kamera

Používá se při rozdílu teploty vzduchu mezi interiérem a exteriérem alespoň 5°C. V interiéru se termovizní kamerou nasnímají všechny konstrukce. Zařízením Blower-Door test se na cca 15 min v interiéru vytvoří podtlak cca 20 Pa až 50 Pa. Následně se opět provede snímání konstrukcí v interiéru termovizní kamerou. Netěsnostmi je do interiéru nasáván studenější nebo teplejší vzduch než je v interiéru, čímž změní konstrukce v okolí netěsností povrchovou teplotu. Z porovnání termovizních snímků před vytvořením podtlaku (při přirozeném tlakovém rozdílu) a při podtlaku v interiéru se stanoví netěsná místa. Příklad termovizního snímku můžeme vidět na Obrázku 2

Výhody: rychlost a přesnost, plošná kontrola konstrukcí  
 Nevýhody: kvůli potřebnému rozdílu teplot nelze provádět celoročně

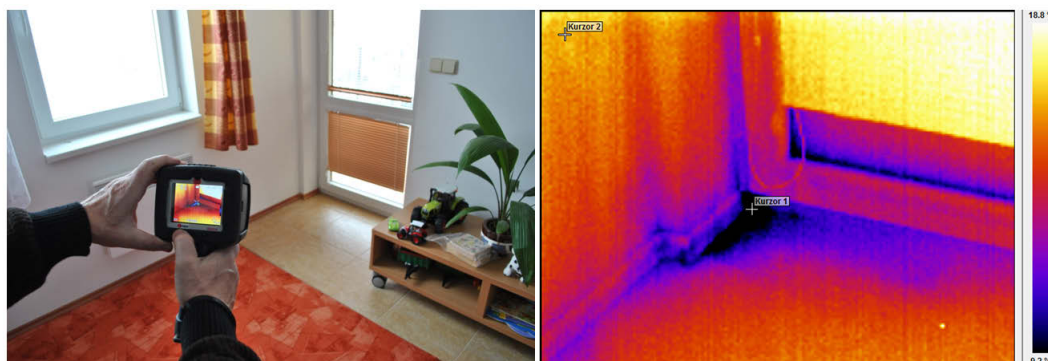
## 2.4 Výpočet tepelné ztráty

K výpočtu tepelné ztráty a nákladů na tuto ztrátu musíme znát několik faktorů:

- přidaný objemový tok vzduchu,
- délku otopného období, přepočítanou na hodino-stupně,

<sup>5</sup>Přístroj na měření rychlosti větru





Obrázek 2: Termovizní kamera

### Přídavný objemový tok vzduchu

Dle normy ČSN EN ISO 13789 s názvem *"Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky pro-  
stupem tepla a větráním"* je možné vypočítat přídavný objemový tok vzduchu, vyvolaného  
větrem při netěsném obvodovém plášti budovy.

$$V_x = V \cdot n_4 \quad (2)$$

$V$  - objem objektu

$n_4$  - intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 4 Pa

### Délka otopného období

Z naměřené hodnoty  $V_{n50}$  je možné spočítat i náklady na energetickou ztrátu. Pro výpo-  
čet je nutné spočítat délku otopného období a vynásobit ji rozdílem teplot mezi interiérem  
a exteriérem v tomto období.

$$H = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \cdot h = 242 \cdot (19 - 3,8) \cdot 24 = 88281,6[H^\circ] \quad (3)$$

$t_{is} = 19^\circ\text{C}$  (průměrná vnitřní teplota)

$t_{es} = 3,8^\circ\text{C}$  (střední venkovní teplota v době vytápění sezóny)

$d$  = délka vytápění sezóny,  $d = 242$

$h$  = počet hodin za 1 den,  $h = 24$

Ve výpočtu jsme použili dlouhodobé, celostátně platné průměrné hodnoty pro Čes-  
kou republiku. Pro přesný výpočet by bylo nutné použít vyhodnocení otopného období  
pro měřenou lokalitu. Pro orientační výpočet můžeme použít dlouhodobý celostátní prům-  
ěr.

Palivo	Cena tepla (Kč/kWh)
Hnědé uhlí	1,05
Černé uhlí	1,36
Dřevo	0,99
Zemní plyn	1,64
Elektřina	2,73
Tepelné čerpadlo	1,03

Tabulka 1: Náklady na vytápění

### 2.4.1 Náklady na tepelnou ztrátu

Vynásobením přidaného objemového toku vzduchu vzniklého netěsnostmi, hodnotou hodinostupňů a objemovou tepelnou kapacitou vzduchu dostaneme ztrátu energie za topné období. Tato hodnota bude v kWh.

$$Q_v = \frac{V_x \cdot H \cdot \rho_a c_p}{1000} [kWh] \quad (4)$$

$$\rho_a c_p - 0,33 \text{ Wh } (m^3 K)^{-1}$$

Nyní snadno dopočítáme náklady na energetickou ztrátu, způsobenou netěsnostmi. Hodnotu  $Q_v$  vynásobíme pouze cenou energie za 1kWh. Pro orientační výpočet použijeme Tabulku 2 s orientačními náklady na vytápění podle druhu paliva. Ceny jsou platné od 1. 1. 2011.

## 2.5 Legislativa

Ve vyhlášce 268/2009Sb. je v následující ustanovení :

**Definice 2.1** *Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly zaručeny požadavky na:*

- *tepelnou pohodu uživatelů,*
- *požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí,*
- *stav vnitřního prostředí pro technologické činnosti a pro chov zvířat,*
- *nízkou energetickou náročnost při provozu stavby.*

Odstavec 3 je zavázán českými technickými normami z oblasti tepelné techniky. Do této oblasti patří česká technická norma ČSN 73 0540-2:2007 - tepelná ochrana budov, ve které jsou stanoveny hlavní požadavky na budovy z hlediska tepelné techniky (Definice 2.2). Za nejčastěji užívanou můžeme považovat část 2, která obsahuje konkrétní požadavky na stavební konstrukce a části budov.

Země	ČR	SR	Německo	Rakousko
Předpis	ČSN 730540-2	stn 73 0540-2	DIN 4107-b	ÖNORM B 8110-5
Větrání v budově	$n_{50,N} [h^{-1}]$	$n_{50,N} [h^{-1}]$	$n_{50,N} [h^{-1}]$	$n_{50,N} [h^{-1}]$
Přirozené	4,5	-	3	3
Nucené	1,5	-	1,5	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0	-	-	-
Pasivní domy	0,6	-	0,6	0,6

Tabulka 2: Srovnání norem ČR, Slovenska, Německa a Rakouska

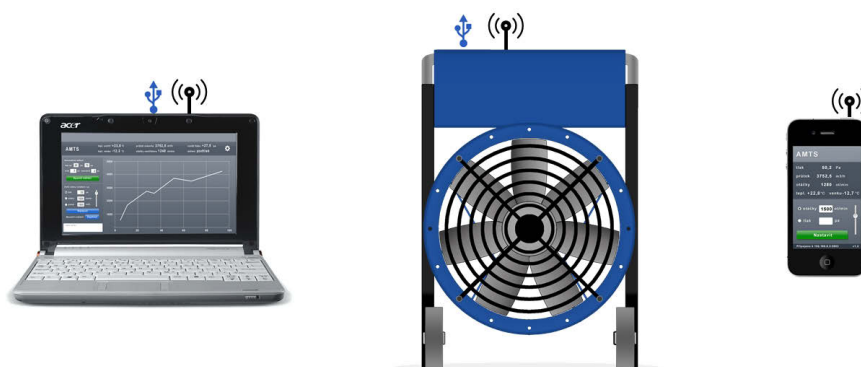
**Definice 2.2** Celková průvzdušnost obálky budovy nebo její ucelené části se může ověřit pomocí celkové intenzity výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa, v h-1, stanovené experimentálně podle ČSN EN ISO 13829. Doporučuje se splnění podmínky  $n_{50} \leq n_{50,N}$  kde  $n_{50,N}$  je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, v h-1, která se stanoví podle tabulky 2.5.

### 3 Analýza a návrh komponent pro měření

V této kapitole zvolíme a popíšeme komponenty, které budou součástí zařízení, a celé zařízení navrhujeme.

#### 3.1 Návrh zařízení

Pro ovládání měřicího zařízení, zobrazení naměřených hodnot, výpočet těsnosti pláště měřeného objektu a vytvoření dokumentu o provedeném měření vytvoříme program pro notebook s operačním systémem Microsoft Windows. Zaměříme se na uživatelské rozhraní programu, které by mělo být jednoduché a přehledné. Zařízení bude možné připojit pomocí USB. Druhá možnost bude připojit se k zařízení pomocí bezdrátové technologie WIFI s režimem klient. Připojení zařízení a technologii připojení je možné vidět na Obrázku 3.



Obrázek 3: Schéma připojení měřicího zařízení

Zároveň vytvoříme aplikaci pro Apple iPhone, která nebude sloužit k plnohodnotnému měření, ale měřicí zařízení se bude z tohoto mobilního telefonu ovládat a zobrazí naměřené hodnoty. Zařízení by mělo být kompaktní, aby bylo možné ho snadno přemístit nebo převést. Jeho zapojení v měřeném objektu by mělo být rychlé a jednoduché. Proto navrhujeme zařízení jako jeden celek, který bude obsahovat vše potřebné k měření. Také by mělo mít zařízení šířku menší než 50 cm, aby v případě potřeby projelo všemi dveřmi v domě.

#### 3.2 Výběr ventilátoru

Ventilátor bude potřeba vybrat takový, aby jeho průtok dostával k vytvoření potřebného rozdílu tlaků 50 Pa ve všech velikostech běžného rodinného domu. Podle statistik Českého statistického úřadu z roku 2006 - 2008 je průměrná velikost rodinného domu na území České republiky 698m<sup>3</sup>. Protože se jedná o průměrnou velikost, budeme ve výpočtu počítat s hodnotou 1000m<sup>3</sup>.

Dle normy ČSN 73 0540-2 je v pořádku hodnota netěsnosti pro domy s přirozeným větráním 4,5. Pokud tuto hodnotu spolu s námi zvolenou hodnotou velikosti domu  $1000\text{m}^3$  dosadíme do vzorce pro výpočet koeficientu netěsnosti (Vzorec 1), dostaneme potřebný průtok ventilátoru.

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} [h^{-1}] \quad (5)$$

$$V_{50} = V \cdot n_{50} \quad (6)$$

$$V_{50} = 1000 \cdot 4,5 \quad (7)$$

$$V_{50} = 4500 [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (8)$$

Ventilátor jsme vybrali dle nabídky od firmy VENTILÁTORY KADLEC, typ AVET 450P / 340E, který vyhovuje konstrukčním řešením. Průtok ventilátoru je  $5350\text{m}^3 \cdot h^{-1}$ , takže zvládne vytvořit potřebný tlak 50 Pa v objektu o velikosti zhruba  $1000\text{m}^3$  při koeficientu těsnosti 4. Elektromotor 1LA7071 byl umístěn v krátkém kruhovém kovovém potrubí. Maximální otáčky motoru jsou 1370 ot/min.

Na motoru je vrtule firmy MULTIWING, typ 442/4-8/1HL/40/pag/a/14/5. Jedná se o plastovou, čtyřlístovou vrtuli o průměru 442 mm, která je už i vyvážená.

### 3.3 Ovládání ventilátoru

Motor pro pohon ventilátoru je třífázový, asynchronní. Příkon motoru je 370 W. Pro jednoduché ovládání motoru zvolíme frekvenční měnič. Vybereme typ V1000 od firmy Elektropohony s.r.o. Tento frekvenční měnič dokáže regulovat motor až do výkonu 15kW. Regulace probíhá pomocí změny frekvence napájení motoru. Tu zde provádí frekvenční měnič automaticky podle nastavených otáček. Otáčky můžeme řídit například analogovým vstupem, přivedením stejnosměrného napětí v rozsahu 0-15 V. Měnič má výstup referenčního stejnosměrného napětí +10 V, který můžeme použít pro ruční ovládání otáček pomocí potenciometru. Protože je frekvenční měnič nastaven na rozsah otáček 0-1500, odpovídá hodnota napětí 10 V 1500 otáčkám.

### 3.4 Měření průtoku vzduchu

V této části si popíšeme kontinuální měření tlakové difference pomocí měřicího kříže, který sestavíme.

#### 3.4.1 Princip měření průtoku

Měřicí kříž se skládá ze dvou trubek namontovaných do pomyslných úhlopříček potrubí ventilátoru o průměru 445 mm. Do obou trubek je vyvrtáno 6 otvorů o průměru 3 mm. Jejich rozmístění je takové, aby je motor ventilátoru nezakrýval. Jedna trubka se nastaví tak, aby otvory směřovaly kolmo proti směru proudění a snímaly tak celkový tlak. Druhá trubka se nastaví tak, aby otvory směřovaly po směru proudění a snímaly

takzvaný sub-statický tlak. Celkový tlak se průměruje po celé trubce. Konce obou trubek budou připojeny k diferenčnímu tlakovému senzoru, který bude počítat diferenční tlak potřebný k výpočtu rychlosti proudění vzduchu a poté k výpočtu množství protečeného vzduchu. Tento senzor měří také teplotu vzduchu, který protéká přes ventilátor k určení hustoty vzduchu. Nadmořská výška a vlhkost je v tomto výpočtu zanedbána.

### 3.4.2 Konstrukce měřícího kříže

Trubky jsou vyrobeny z oceli o venkovním průměru 8 mm a tloušťce stěny 0,5 mm. Jeden konec je vždy zaslepen a druhý konec je upraven na průměr 5 mm pro připojení PVC hadičkou o průměru 4 mm k tlakovému diferenčnímu senzoru.

### 3.4.3 Umístění měřícího kříže

Pro dosažení přesnosti měření 10% by mělo umístění měřícího kříže podle výrobce splňovat tyto podmínky: Minimální délka potrubí před měřícím křížem po směru proudění vzduchu je 3,5 násobek průměru potrubí a minimální délka potrubí za křížem je rovna průměru potrubí. Pro námi zvolené potrubí o průměru 445 mm je to tedy 20025 mm. Protože tyto podmínky není možné splnit, bude nutné kříž po instalaci kalibrovat na tomto potrubí, nebo vytvořit stejné podmínky, které měl výrobce vrtule ventilátoru při měření průtoku a podle těchto hodnot dopočítáme koeficient pro výpočet skutečné hodnoty průtoku vzduchu.

### 3.4.4 Diferenční tlakový senzor

Podle údajů výrobce ventilátoru je možné nastavit maximální otáčky na hodnotu 1500 otáček  $\cdot h^{-1}$ . Při těchto otáčkách v potrubí o průměru  $D = 445$  mm proteče  $6870 m^3 \cdot h^{-1}$  o rychlosti  $12,27 ms^{-1}$ . Podle výpočtů z technické dokumentace měřícího kříže pro rychlost proudění vzduchu do  $10 ms^{-1}$  je diferenční tlak do 100 Pa. Proto pro měření diferenčního tlaku vybereme COMS senzor SDP600 od firmy Sensirion, který měří rozdíl tlaku od -500 Pa do +500 Pa. Kalibrace pro rozdílnou teplotu vzduchu se provádí automaticky na základě teploty. Přesnost senzoru je  $\pm 0,2$  Pa na celém měřícím rozsahu.

### 3.4.5 Výpočty

Pro přesnější výpočet průtoku vzduchu nejdříve spočítáme jeho hustotu. Hustota vzduchu je závislá na teplotě, nadmořské výšce a vlhkosti. Nadmořskou výšku a vlhkost v našem výpočtu zanedbáme.

### Hustota vzduchu

$$\rho = \frac{1}{286.78708} \cdot \frac{1 + t}{273.15 + t} \quad (9)$$

$t$  - teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

### Rychlost proudění vzduchu

$$v = \rho \cdot \sqrt{\frac{T}{289} \cdot \frac{P_v}{M}} [h^{-1}] \quad (10)$$

$v$  - rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$P_v$  - diferenční tlak snímaný na mříži [ $\text{Pa}$ ]

$T$  - absolutní teplota měřeného média [ $K$ ], která se určí jako teplota( $C$ ) + 273

$M$  - konstanta X-kříže (-)

### Objemový průtok

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (11)$$

$v$  - rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$A$  - průřez potrubí (v místě kde je nainstalován měřicí kříž) [ $m^2$ ]

$Q$  - objemový průtok [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

#### 3.4.6 Kalibrace měření průtoku

Protože měřicí kříž není v ideálním umístění, je nutné ho kalibrovat a vypočítat opravný koeficient. Po domluvě s firmou Mondo.cz, která je distributor vrtulí Multiwing pro Českou republiku, nám zaslala charakteristiky vrtule pro 1000, 1100, 1200, 1300, 1400 a 1500  $\text{ot} \cdot \text{h}^{-1}$ . Podle těchto hodnot budeme kalibrovat měřicí kříž. Hodnoty výrobce vrtule jsou měřené při teplotě  $20^{\circ}\text{C}$  a tlaku 50 Pa.

### 3.5 Měření tlaku uvnitř objektu

Pro výpočet těsnosti staveb dle normy ČSN 73 0540-2 je nutné docílit rozdílu tlaku 50 Pa. Proto zvolíme diferenční tlakový senzor ASP 1400 od firmy Sensirion, který měří rozdíl tlaku od -100 Pa do +100 Pa. Přesnost je 0,005% na celém měřeném rozsahu. Kalibrace pro rozdílnou teplotu vzduchu se provádí automaticky na základě teploty.

Senzor bude součástí elektroniky pro řízení ventilátoru a PVC hadičkou o průměru 4 mm bude jeden vývod připojen ven mimo měřený objekt. Druhý vývod bude ponechán v měřeném objektu.

Pro přesné měření rozdílu tlaku je nutné vypočítat korekci k odchylce, která závisí na délce hadičky. Hadice se chová jako lineární omezovač průtoku. Podle dokumentace

tlakového senzoru je nutné tento pokles tlaku vypočítat a připočíst k naměřenému výsledku. Podle Hagen-Poiseuille zákona [9] je pokles tlaku v kruhové hadici úměrný délce  $L$  a průtoku  $m$ , nepřímo úměrný čtvrté mocnině průměru  $D$ .

$$dp_{eff} = \frac{dp_{sensor}}{1 + \epsilon} \cdot v[m/s] \quad (12)$$

$$\epsilon = \frac{64}{\pi} \cdot \frac{L}{D^4} \cdot \frac{n_{air}}{\rho_{air}} \cdot \frac{m_c}{\Delta p_{sensor}} \cdot \sqrt{1 + \frac{8\Delta p_{sensor}}{\Delta p_c}} \quad (13)$$

$$n_{air} = 1.8447 \cdot 10^{-5} Pa \quad (14)$$

$$\rho_{air} = 1.1686 kg \cdot m^{-3} \quad (15)$$

$$m_c = 6.17 \cdot 10^{-7} kg/s \quad (16)$$

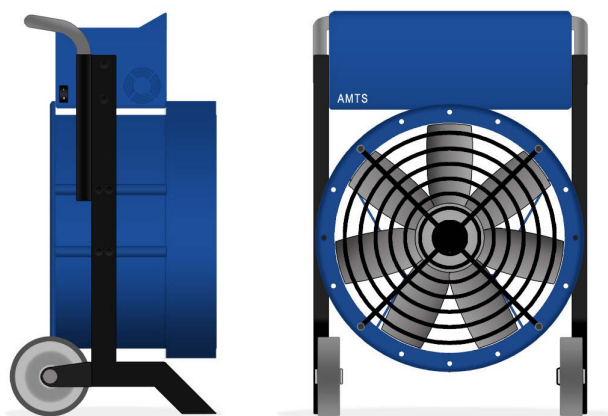
$$\Delta p_c = 62 Pa \quad (17)$$

### 3.6 Měření venkovní teploty a teploty uvnitř objektu

Pro zdokumentování teploty uvnitř stavby a teploty venku je potřeba teplotu měřit. K tomu použijeme 2 teplotní senzory DS18B20. Tento teplotní senzor je v pouzdře TO-92 a má 3 piny. Má 12-ti bitové rozlišení. V rozsahu  $-55^{\circ}C$  do  $+125^{\circ}C$  má přesnost  $0,5^{\circ}C$ .

### 3.7 Návrh celého zařízení

Celé zařízení navrhujeme jako jeden celek, viz Obrázek 4. Vycházet budeme z potrubí ventilátoru, které je jeho součástí. Nad potrubím bude skříň s elektronikou. Skříň elektroniky bude s potrubím ventilátoru propojena pomocí kovových nosníků. Celé zařízení bude pro snadné převážení na dvou kolečkách. Součástí bude také výsuvná rukojeť.



Obrázek 4: Navržené měřicí zařízení

Konstrukce zařízení bude vyrobena z oceli a po odzkoušení necháme nanést povrchovou úpravu (komaxit).

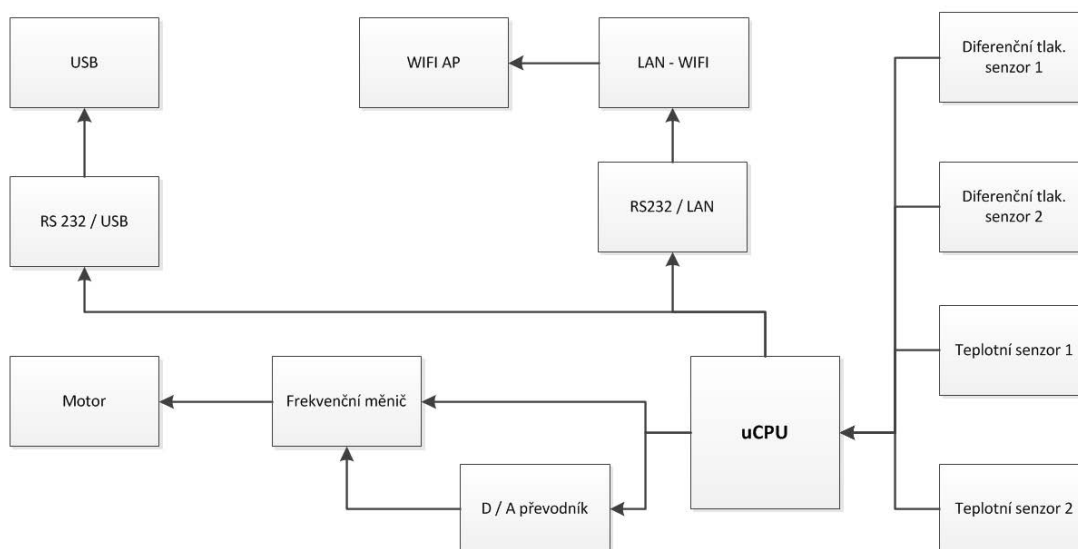


### **3.8 Rám pro montáž zařízení**

Pro instalaci měřicího zařízení do vzduchotěsné obálky budovy bude potřeba vytvořit flexibilní rám (viz. dokumentace na přiloženém CD), který bude možné nainstalovat do libovolné velikosti vstupních dveří. Rám bude sestaven z teleskopických hliníkových tyčí, které bude možno vysouvat a tím měnit velikost pro potřebný otvor. Na rámu bude nasazena plachta, která se nasune dle potřeby a velikosti rámu. V plachtě připravíme otvor pro nasunutí měřicího zařízení. Uprostřed této plachty bude nátrubek pro připojení hadičky od tlakového senzoru k měření difference tlaku mezi interiérem a exteriérem.

## 4 Elektronika

Na úvod této kapitoly si na blokovém schématu (Obrázek 5) ukážeme propojení všech elektronických prvků.



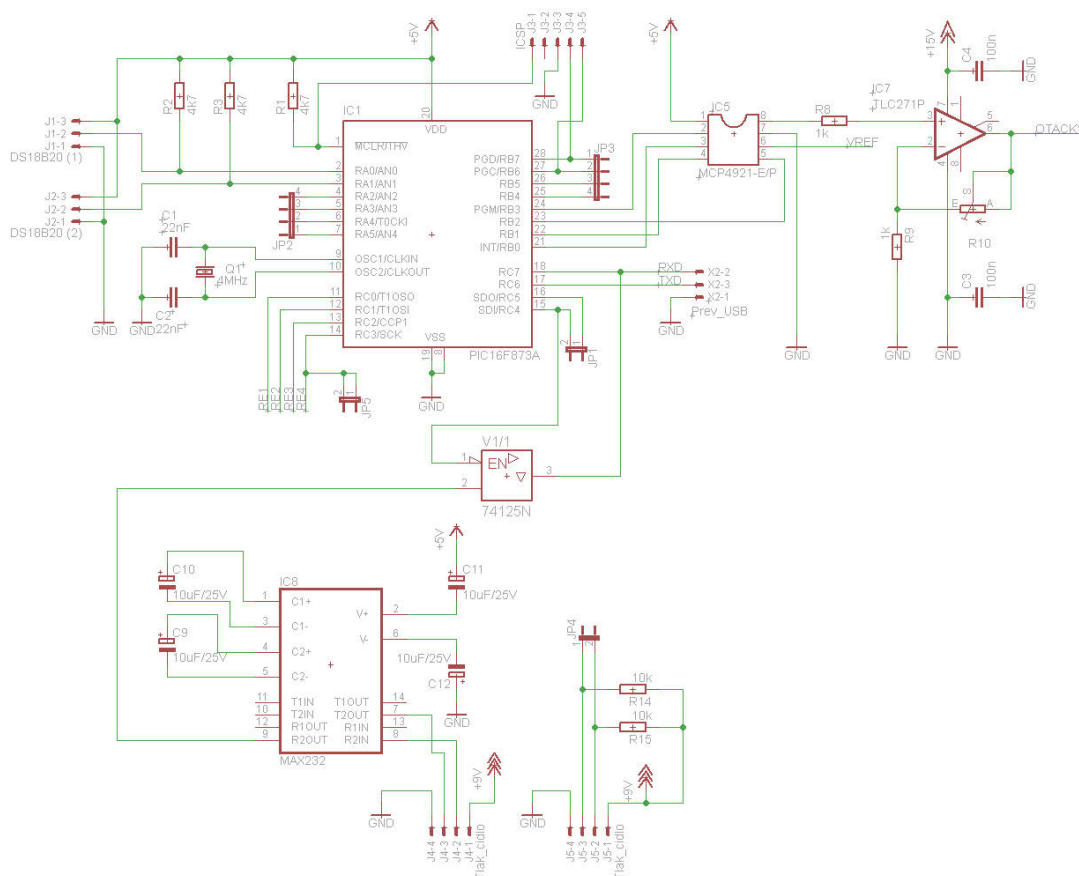
Obrázek 5: Blokové schéma propojení všech elektronických součástí

### 4.1 Mikroprocesor

Pro ovládání více zařízení bude potřeba použít mikroprocesor. Schéma připojení najdeme na Obrázku 6. Zvolíme typ PIC16F873A od firmy Microchip. Mikroprocesor má paměť 128 Kbytu EEPROM, je taktován kmitočtem 22 MHz. Má 22 vstupů/výstupů a je umístěn v 28 pinovém SDIP pouzdře. Napájen je napětím +5 V.

**K mikroprocesoru bude připojeno:**

- D/A převodník pro řízení otáček ventilátoru,
- teplotní senzor pro měření teploty uvnitř objektu,
- teplotní senzor pro měření teploty v okolí objektu,
- tlakový senzor pro měření rozdílu tlaku uvnitř a v okolí objektu,
- tlakový senzor k měření průtoku vzduchu ventilátorem,
- USB převodník,
- LAN převodník, ke kterému bude připojeno WIFI AP.



Obrázek 6: Schéma připojení mikroprocesoru

## Řízení otáček

Frekvenční měnič lze ovládat vstupním napětím v rozsahu 0-10 V. Vzhledem k chybějícímu komunikačnímu rozhraní měniče, který máme k dispozici, použijeme D/A převodník k převodu z digitální hodnoty na analogové napětí. Zvolíme DA převodník MCP4921-E/P který je jednobanálový a má rozlišení 12 bitů. Vstupní napětí je 2,7 - 5,5 V. Je umístěn v klasickém osmi pinovém DIP pouzdře. Rozhraní má sériové. K výstupu tohoto D/A převodníku připojíme operační zesilovač, který výstupní napětí pro hodnotu 1500 otáček zesílí na 10 V. Pro přesné doladění hodnoty napětí přidáme do zpětné vazby operačního zesilovače trimr 10Ω.

## Teplotní senzor

Pro zdokumentování teploty uvnitř stavby a teploty venku je potřeba teplotu měřit. K tomu použijeme 2 kusy teplotních senzorů DS18B20. Tento teplotní senzor je v pouz-

dře TO-92 a má 3 piny. Má 12bitové rozlišení. V rozsahu  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $+125^{\circ}\text{C}$  má přesnost  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

### **Tlakový senzor pro měření rozdílu tlaku uvnitř a vně objektu**

Pro měření rozdílu tlaku uvnitř a v okolí měřeného objektu zvolíme diferenční tlakový senzor ASP 1400 od firmy Sensirion. Senzor měří rozdíl tlaku od  $-100\text{ Pa}$  do  $+100\text{ Pa}$ . Přesnost je  $0,005\%$  na celém měřeném rozsahu. Kalibrace pro rozdílnou teplotu vzduchu se provádí automaticky na základě teploty. Tento senzor komunikuje sériově, vždy 8 datových bitů a 1 stop bit. Napájen je  $+9\text{ V}$ .

## **4.2 Komunikace s mikroprocesorem**

Procesor PIC16F873A komunikuje sériově. Pro úpravu linky pro komunikaci z TTL na sériovou linku RS232 a naopak z TTL na RS232 použijeme nejpoužívanější obvod k tomu určený MAX-232. Tento obvod je napájen stejnosměrným napětím  $+5\text{ V}$ .

### **4.2.1 Komunikace pomocí sběrnice USB**

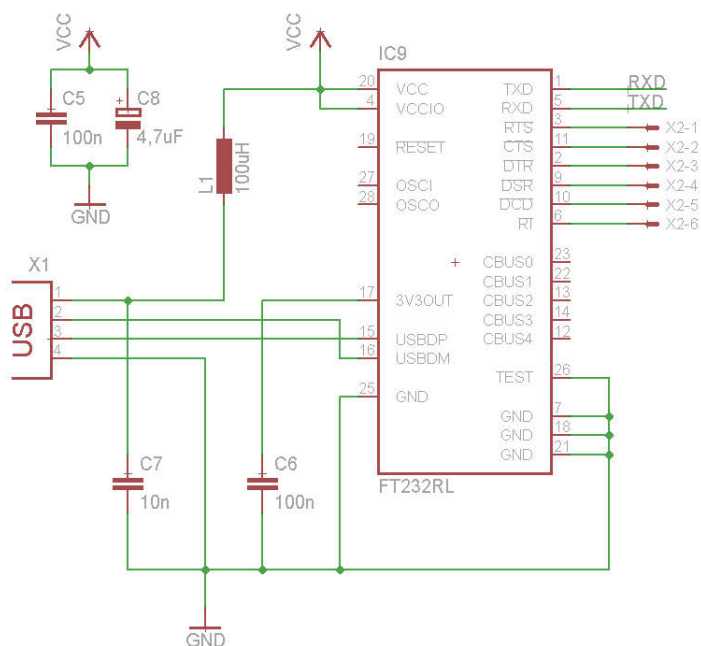
Protože v dnešní době na noteboocích vymizelo sériové rozhraní RS232 přidáme ještě jednočipový převodník RS232 na USB (Obrázek 7). Je kompatibilní s USB 1.1 i USB 2.0. USB převodník se připojí k převodníku MAX232 pomocí vývodů RxD a TxD. Po připojení k počítači pomocí USB kabelu se chová tento port jako sériový port (virtuální COM port).

### **4.2.2 Komunikace pomocí bezdrátové technologie WIFI**

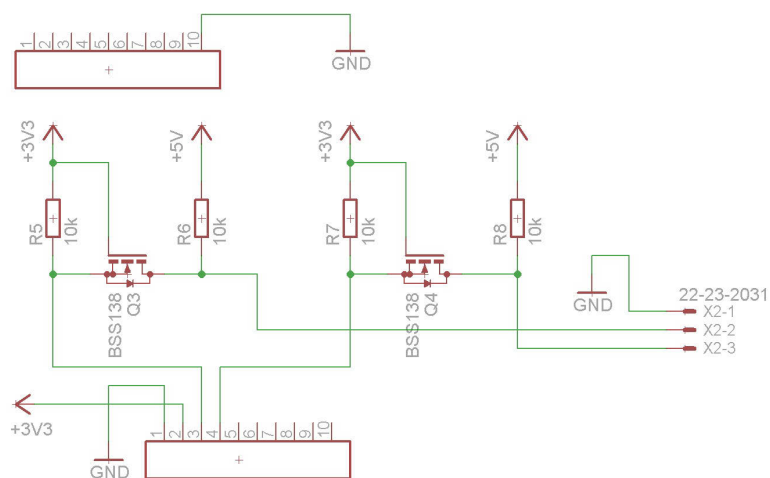
Komunikaci WIFI vyřešíme malým převodníkem NanoSocketLAN od firmy ConnectOne. Tento šikovní převodník umí převést sériovou linku RS232 na síťové rozhraní LAN (Obrázek ). Tento převodník pak v síti má svou IP adresu a port. Umí pracovat v režimu Socket klient i Socket server. To znamená, že umí spojení vytvořit s jinou stranou, nebo umí čekat na připojení druhé strany. Použijeme možnost Socketu server, kde toto zařízení vytvoří na nastaveném portu socket pro komunikaci a čeká na připojení klienta. Data, která převodník od klienta přijme, převede automaticky na sériové rozhraní k procesoru a opačně. Data, které přijdou ze sériového rozhraní, automaticky posílá klientovi v síti, se kterým má vytvořené spojení. Tento modul je napájen stejnosměrným napětím  $+3,3\text{V}$ . K tomuto modulu připojíme bezdrátový přístupový bod režimu AP.

### **Napájecí část**

Pro napájení zvolíme trafo s výstupem  $2 \times 9\text{V}$ . Výstup sériově propojíme a dostaneme tedy střídavých  $18\text{ V}$ . Toto napětí diodového můstku usměrníme. Pomocí stabilizátoru 317T vytvoříme napětí  $9\text{ V}$ , které je potřeba pro napájení tlakového senzoru. Dále použijeme stabilizátor 7815, který má pevné výstupní napětí  $15\text{ V}$ . Z tohoto napětí pomocí stabilizátoru 7812 si vytvoříme napětí  $12\text{ V}$ , které použijeme jako referenční napětí pro

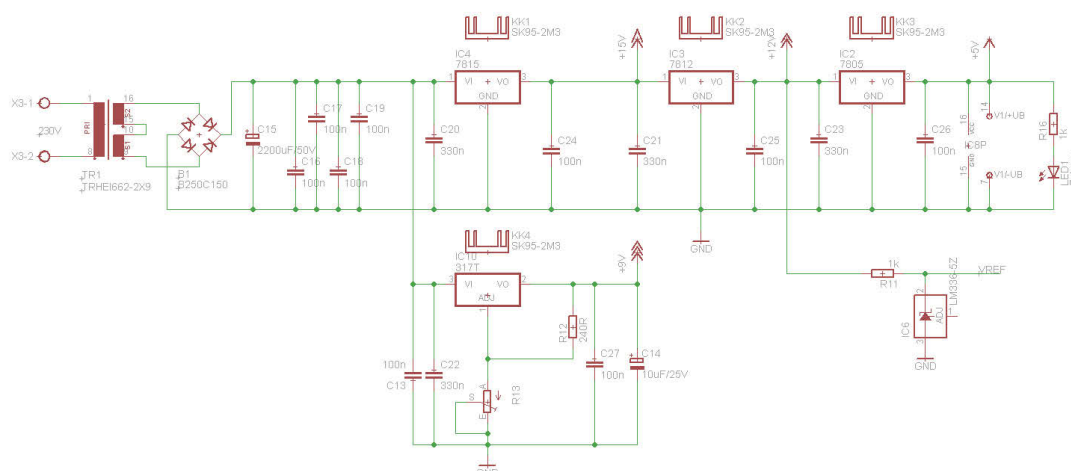


Obrázek 7: Schéma připojení USB převodníku



Obrázek 8: Schéma připojení modulu NanoSocketLAN

operační zesilovač k řízení frekvenčního měniče. Z napětí 12 V nakonec pomocí stabilizátoru 7805 vytvoříme napětí 5 V pro napájení ostatních součástek. Schéma napájení najdeme na Obrázku 9.



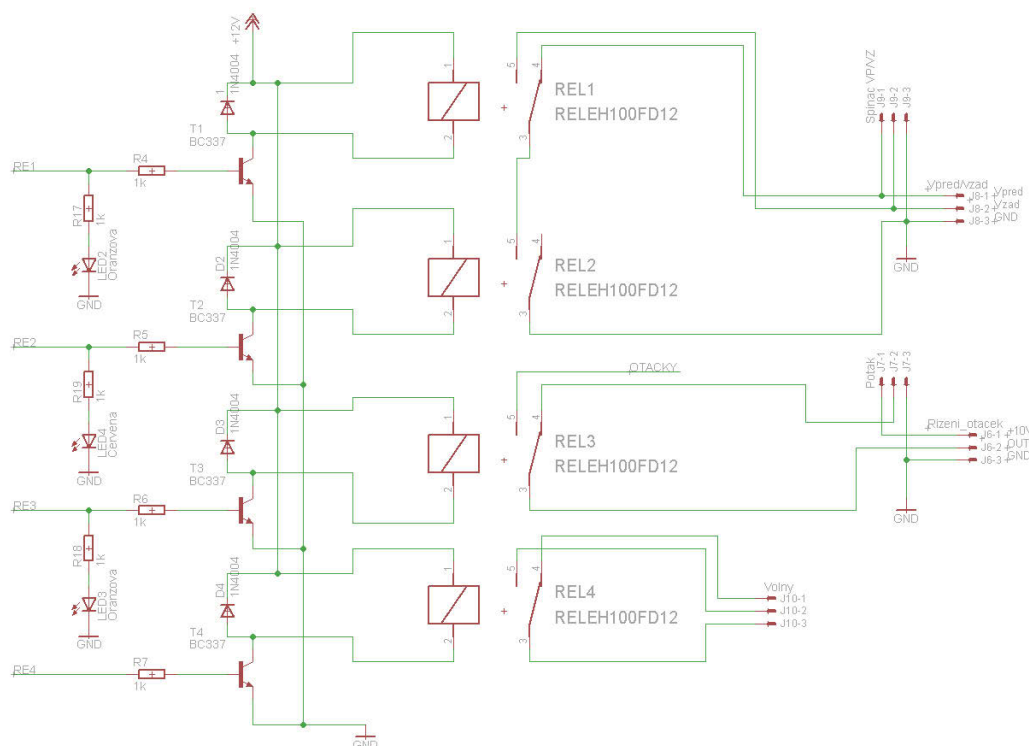
Obrázek 9: Schéma napájecí části

## Ovládání frekvenčního měniče

Pro sepnutí frekvenčního měniče vpřed - vzad použijeme dvě relé H100FD12. Tato relé jsou napájena 12 V (Obrázek 10). Pokud jsou obě relé rozpojena, je možné měnič spustit spínačem na předním panelu bez připojení elektroniky k PC. Další relé je použito pro přepínání mezi ovládáním otáček z DA převodníku z PC a ručním ovládáním pomocí potenciometru z ovládacího panelu.

## Návrh a výroba desky plošných spojů

Pro návrh desky plošných spojů (DPS) použijeme software Eagle, který je zdarma. Velikost výsledné DPS bude  $140 \times 160\text{mm}$ . Pro výrobu použijeme fotocitlivý kuprextit, na který přiložíme vytištěnou předlohu. Předlohu vytiskneme ve vysokém rozlišení na laserové tiskárně na lesklou folii pro zpětný projektor. Předloha musí být vytištěna zrcadlově, aby vytištěná vrstva mohla být co nejlíže fotocitlivé vrstvy kuprextitu. Poté přes předlohu osvítlíme fotocitlivou vrstvu pomocí UV výbojky. Vyvolání se provede pomocí hydroxidu sodného. Leptání provedeme v chloridu železitém. Po dokončení DPS opláchneme vodou, navrtáme a osadíme součástkami podle návrhu.



Obrázek 10: Schéma výstupů pro připojení frekvenčního měniče

### 4.3 Ovládání elektroniky z PC

Elektroniku je možné ovládat pomocí USB protokolu nebo pomocí připojení k bezdrátové síti WIFI. Název sítě (SSID) nastavíme na AMTS.

#### Nastavení elektroniky

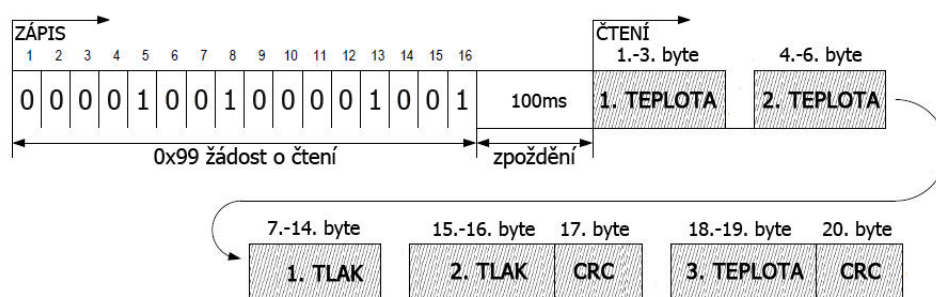
Při připojení k elektronice je potřeba provést nejprve základní inicializace, při které se elektronika přepne do režimu ovládání z počítače. Inicializace se provede zasláním hodnoty dvou bytů 0x91 Hexa a 0xE6 Hexa. Poté je možné zasílat příkazy k ovládání (Tabulka 3). Při ukončení ovládacího softwaru je nutné zaslat 2 byty 0x91 Hexa a 0xE5 Hexa, aby se elektronika přepla zpět do ovládání z ovládacího panelu, který je umístěn na měřícím zařízení.

#### Čtení dat

Pro čtení dat je potřeba nejdříve vyslat byte 0x99 Hexa, viz Tabulka 4, a poté zařízení pošle 20 bytů, které software přečte a zpracuje. V těchto bytech jsou hodnoty všech senzorů. Pořadí hodnot viz Tabulka 4. Čtení je možné každých 350ms opakovat.

Popis	Základní byte	Řídící byte
Základní inicializace	0x91	0xE6
Nastavené otáček	0x88	0x00 až 0x5DC
Chod motoru - vpřed	0x91	0xEB
Chod motoru - vzad	0x91	0xEC
Manuální ovládání otáček (zap.)	0x91	0xF1
Manuální ovládání otáček (vyp.)	0x91	0xFB
Start spuštění motoru	0x91	0xED
Stop spuštění motoru	0x91	0xEF
Ukončení programu	0x91	0xE5

Tabulka 3: Seznam kódů pro nastavení elektroniky



Obrázek 11: Schéma čtení dat

Aby čtení proběhlo v pořádku ze všech senzorů, je vhodné po zaslání žádosti o čtení počkat 100ms, viz Obrázek 11.

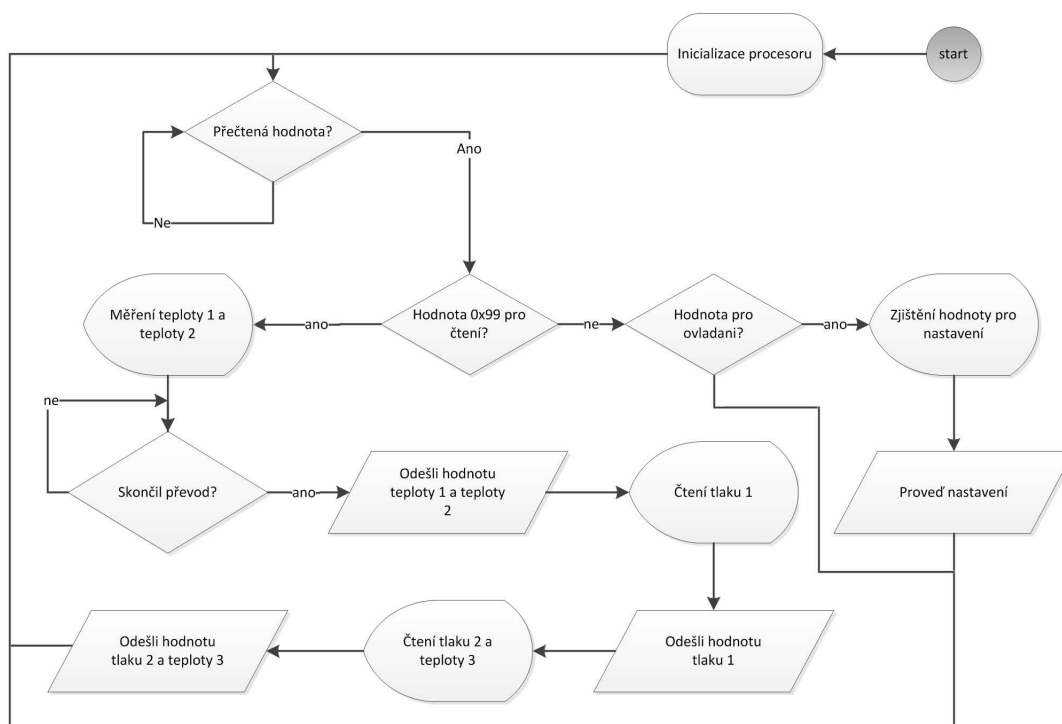


Pořadí bytů	Přijaty byte	Popis
1.	0-125	Jednotky a desítky stupňů
2.	0-9	1. desetinná hodnota
3.	0 nebo 255	0 = +; 0xff = -
4.	0-125	Jednotky a desítky stupňů
5.	0-9	desetinná hodnota
6.	0 nebo 255	0 = +; 0xff = -
7.		1. hodnota z 1. tlak. čidla
8.		2. hodnota z 1. tlak. čidla
9.		3. hodnota z 1. tlak. čidla
10.		4. hodnota z 1. tlak. čidla
11.		5. hodnota z 1. tlak. čidla
12.		6. hodnota z 1. tlak. čidla
13.		7. hodnota z 1. tlak. čidla
14.		8. hodnota z 1. tlak. čidla
15.		1.byte tlaku 2. senzoru
16.		2.byte tlaku 2. senzoru
17.		CRC kontrola tlaku
18.		1.byte teploty
19.		2.byte teploty
20.		CRC kontrola teploty

Tabulka 4: Seznam kódů při čtení z elektroniky

#### 4.4 Software mikroprocesoru

Pro ovládání elektroniky vytvoříme program pro mikroprocesor PIC v programovacím jazyce C (viz. Obrázek 12). Tento program bude nahrán do mikroprocesoru PIC16F873A.



Obrázek 12: Vývojový diagram softwaru mikroprocesoru

## 5 Návrh softwaru pro Microsoft Windows

V této kapitole se budeme věnovat hlavní části této práce, analýze a návrhu softwaru pro ovládání zařízení. Možnosti softwaru jsou znázorněny na Obrázku 13.

### 5.1 .NET Framework

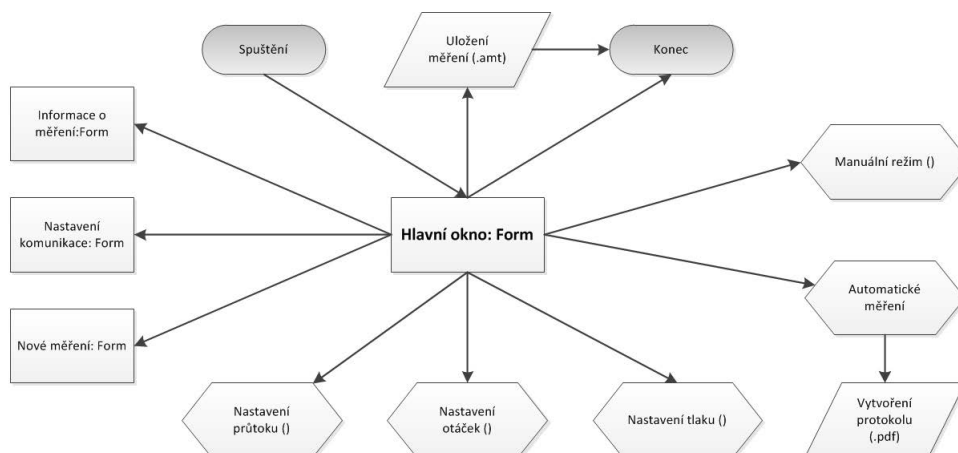
.NET Framework je rozsáhlá softwarová platforma, která je určena pro vývoj mnoha různých druhů aplikací. Za pomoci .NET Frameworku můžeme vyvíjet nejen klasické aplikace pro Windows, ale mimo jiné i webové aplikace a služby, aplikace pro mobilní zařízení a mnoho dalších.

Celý framework obsahuje kromě velké sady knihoven a funkcí i samotné běhové prostředí (CLR – Common Language Runtime), které zajišťuje běh a kompilaci aplikací. Obrovská škála funkcí nám zajišťuje to, že se nemusíme starat o psaní věcí, které se používají často, které jsou nudné a ve kterých se dá udělat mnoho chyb, například třídění pole, stažení webové stránky, vytvoření okna, práce s XML soubory atd., podobných příkladů by se dalo najít stovky. Díky běhovému prostředí pak budou naše aplikace rozumně rychlé a bezpečné [8].

### 5.2 Funkce softwaru

Námi navrhovaný software by měl splňovat následující požadavky:

- zobrazit naměřené údaje (tlak, teplota venku, teplota uvnitř, průtok),
- provést automatické měření, ve kterém software nalezne rozdíl tlaku 50 Pa, změří hodnoty průtoku při tomto rozdílu tlaků a vypočítá koeficient netěsnosti pro měřený objekt. Tento koeficient porovná s normou,
- po skončení automatického měření vytvořit protokol o měření, který bude přehledný a naformátovaný přímo pro tisk. Na protokolu budou údaje o zákazníkovi, údaje o měřeném objektu, naměřené hodnoty a nastavení programu při měření. Protokol bude uložen ve formátu PDF,
- možnost nastavit otáčky ventilátoru, nalézt automaticky otáčky pro nastavený tlak nebo průtok a tuto hodnotu udržovat,
- přepnout ovládání do ručního režimu ze zařízení,
- možnost nastavení komunikace se zařízením přes USB port nebo pomocí bezdrátové technologie WIFI,
- ukládat informace o měření do datového souboru a tyto datové soubory i načítat.



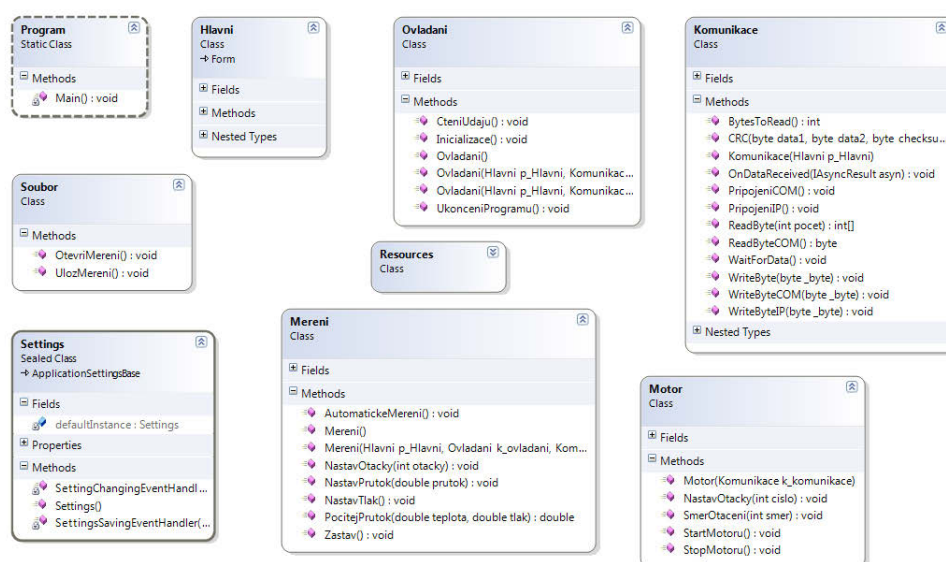
Obrázek 13: Životní cyklus softwaru pro Windows.

### 5.3 Rozdělení tříd

Program je rozdělen (Obrázek 14) do těchto tříd:

- **hlavni** - třída, která obsahuje hlavní okno programu. Z této třídy budou inicializovány ostatní třídy. Tato třída také ovládá komponenty v hlavním okně programu,
- **komunikace** - třída, která komunikuje přes WIFI nebo USB se zařízením. Tato třída se stará o čtení i posílání dat. Kontroluje také kontrolní součet CRC pro diferenční tlakový senzor, pro měření průtoku vzduchu,
- **motor** - tato třída obsahuje metody pro ovládání motoru. Obsahuje metody: Start(), Stop(), SmerOtaceni(), NastavOtacky(),
- **mereni** - třída která obsahuje metody AutomatickeMereni(), NastavOtacky(), NastavPrutok(), NastavTlak(). Metody pro nastavení průtoku a nastavení tlaku obsahují algoritmus pro ovládání otáček a nalezení zadaného průtoku nebo tlaku,
- **ovladani** - třída obsahuje metodu Cteni(), která se stará o čtení dat z tlakových a teplotních čidel, získaná data přepočítává na hodnoty, u tlakového senzory dopočítá ztrátu vzniklou v připojovací hadičce a hodnoty zobrazí. Toto čtení provádí každých 300ms. Dále obsahuje metodu Inicializace(), která se provede po spuštění programu a nastaví zařízení do režimu ovládání z počítače. Také obsahuje metodu UkonceniProgramu(), která při ukončení programu přepne zařízení zpět do ručního ovládání z panelu zařízení,
- **soubor** - třída pro práci se soubory. Obsahuje metodu OtevriMereni(), která načte výsledek uloženého měření ve formátu .amt, dále UlozMereni(). Tato metoda uloží

naměřený výsledek, vložené informace o zákazníkovi a další nastavení programu při měření. Poslední metoda v této třídě se jmenuje NoveMereni(). Tato metoda vytvoří nový soubor pro ukládání výsledků a nastaví program do výchozí polohy, pro provedení nového testu ve výchozím nastavení.



Obrázek 14: Třídní diagram.

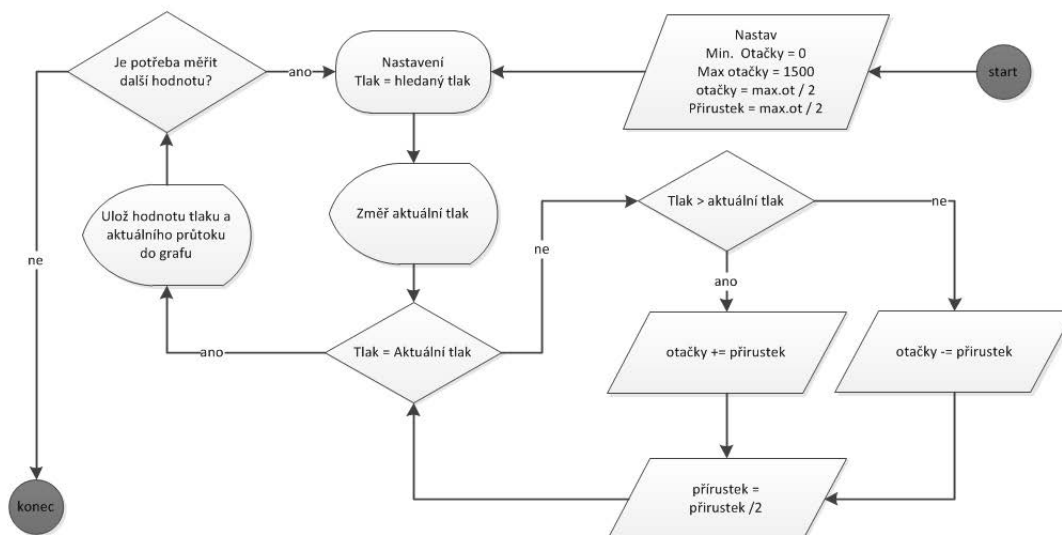
### Automatické měření

Pro provedení automatického měření je potřeba zjistit průtok vzduchu, který proteče ventilátorem z objektu ven, aby byl rozdíl tlaku uvnitř a vně objektu 50 Pa. Pro přesnější výpočet provedu měření od 30 Pa po 70 Pa, s krokem 10 Pa a toleranci 1 Pa. Takto bude software ve výchozím stavu nastaven. Samozřejmě bude možnost tyto hodnoty před měřením změnit. Každé nalezení tlak bude spolu s naměřeným průtokem uloženo do grafu. Po ukončení měření bude z grafu odečten průtok při 50 Pa a vypočítána naměřená netěsnost. Dále bude vypočítána velikost vzduchu vyměněného za hodinu. Z této hodnoty a zadané ceny za roční vytápění budou vypočítány náklady na tepelnou ztrátu, tedy částka, kterou bude možné při odstranění netěsnosti ušetřit.

Pro nalezení nastaveného tlaku změnou otáček použijeme metodu půlení intervalu. Je tedy potřeba najít otáčky v intervalu 0 - 1500, při kterých bude rozdíl tlaku naše hledaná hodnota. Na začátku měření rozdělíme interval 0-1500 na půl, tzn. 750 a nastavíme otáčky na tuto hodnotu. Při každé změně pro ustálení algoritmus počká 5s. Dále poslední přičtené nebo odečtené číslo (750) vydělíme 2. Dostaneme 375. Pokud je naměřený tlak menší, než hledaný přičteme toto číslo, v opačném případě toto číslo odečteme. Takto pokračujeme, až nalezneme hledaný tlak. Metoda je velice rychlá, pomalejší je, pokud je

hledané číslo blízko okraje intervalu otáček 0 - 1500. Ovšem i v tomto případě myslím, že je čas vynikající. Princip algoritmu automatického měření je znázorněn na Obrázku 15.

Náš interval 0-1500 obsahuje 1500 prvků, které je možné vyjádřit  $2^{11}$ , proto tedy tento algoritmus bude mít nejvýše 11 kroků. Pokud je pauza po každé změně 5s tak výsledek dostaneme maximálně za 55s, pokud je možné v měřeném objektu hledaný tlak dosáhnout.



Obrázek 15: Princip automatického měření.

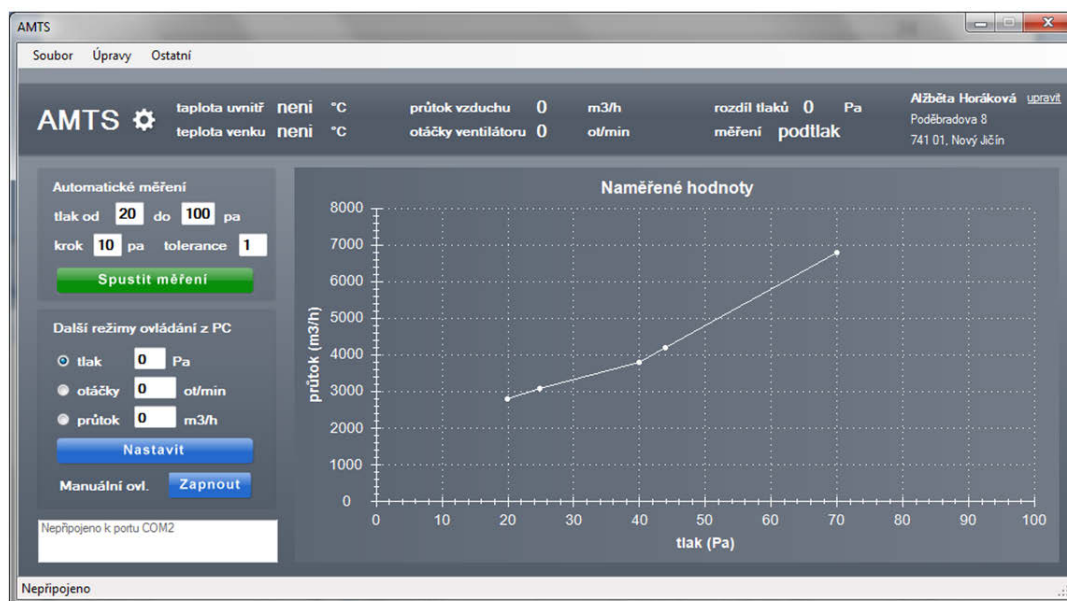
### Ruční nastavení tlaku a průtoku

V těchto funkcích je použita metoda půlení intervalu, popsaná v automatickém měření. Po nalezení hledaného průtoku nebo tlaku je hodnota otáček uložena a ventilátor hledaný průtok nebo tlak udržuje až do ukončení této funkce uživatelem.

## 5.4 Návrh grafického rozhraní

Pro vytvoření grafického rozhraní použijeme komponenty WindowsForms, které jsou součástí. Net Frameworku. Pro větší přehlednost hlavní okno a tlačítka přebarvíme (viz Obrázek 16). Stejný vzhled se pokusíme použít i při návrhu uživatelského rozhraní v aplikaci pro Apple iPhone 19).

Pro názorné zobrazení naměřených hodnot použijeme komponentu ZedGraph, která spadá do LGPL licence. To znamená, že je možné ji volně používat, pokud se nemění zdrojový kód komponenty [7]. Jedná se o dll soubor, který stačí připojit k našemu programu.



Obrázek 16: Hlavní okno programu pro Windows.

## 5.5 Ukládání dat z programu

### Nastavení programu

Pro uložení nastavených hodnot v programu použijeme jednoduchý formát xml (Obrázek 17). Tento soubor musí být vždy v adresáři s programem. Při spuštění je načítán způsob komunikace. Podle vybraného způsobu se načítá IP adresa nebo číslo COM portu. Dále se načítá rozsah měření pro provedení automatického testu.

### Zpracování dat a tvorba protokolů

Po dokončení automatického měření bude z grafu odečtena hodnota průtoku vzduchu pro rozdíl tlaku 50 Pa a z této hodnoty bude vypočítán koeficient těsnosti. Jako výstup bude uložen protokol ve formátu PDF, který bude naformátovaný pro tisk. Tento protokol bude určen pro zákazníka a bude informovat o provedeném měření objektu.

### Hodnoty ukládané do protokolu

- jméno, adresa a kontaktní údaje firmy, která prováděla měření,
- jméno, adresa a kontakt zákazníka, pro kterého byl test prováděn,
- informace o velikosti měřeného objektu,
- informace o vytápění a ceně za vytápění měřeného objektu,

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<Nastaveni>
  <Komunikace>
    <Zpusob_komunikace>COM</Zpusob_komunikace>
    <Seriovy_port>COM3</Seriovy_port>
    <IP>192.168.1.2</IP>
  </Komunikace>
  <Mereni>
    <Od_tlaku>20</Od_tlaku> <Do_tlaku>70</Do_tlaku> <Krok>10</Krok>
  </Mereni>
  <Tolerance>1</Tolerance>
</Nastaveni>

```

Obrázek 17: Ukázka souboru *nastavení.xml*.

- nastavení rozsahu a způsobu měření,
- průtok při 50 Pa,
- koeficient těsnosti,
- teplota uvnitř objektu,
- teplota venku,
- množství vyměněného vzduchu za hodinu,
- náklady na úniky.

K vytvoření protokolu ve formátu PDF zvolíme knihovnu Report, která je určená pro generování souborů ve formátu PDF. Tato knihovna spadá do LGPL licence. Tudíž pokud se neupravuje zdrojový soubor, je možné ji používat zdarma. Výstup se do dokumentu přidává pomocí pozice na stránce. Je možné definovat font, velikost písma, zda se jedná o titulek nebo text. Možnosti jsou široké. Pro každý vložený text stačí definovat pozici pomocí X a Y souřadnice.

Ukázku vygenerovaného protokolu PDF je umístěna do příloh. Celé měření se všemi údaji je možno uložit jako .amt soubor. Jedná se o datový soubor s XML strukturou. Po otevření tohoto souboru v programu se načtou všechny informace a PDF je z tohoto datového souboru možno kdykoliv vygenerovat znovu. Datový soubor o provedeném měření je také přiložen v přílohách na CD.



---

```
public class Motor
{
    public void NastavOtacky(int cislo)
    {
        byte[] b = null;
        b = BitConverter.GetBytes(cislo);
        komunikace.WriteByte(0x88);
        Thread.Sleep(100);
        komunikace.WriteByte(b[1]);
        Thread.Sleep(100);
        komunikace.WriteByte(b[0]);
        Thread.Sleep(100);
    }
}
```

---

Výpis 1: Ukázka nastavení otáček ventilátoru

---

```
public class Mereni
{
    public string PocitejPrutok(double teplota, double tlak)
    {
        //vypočet průřezu (m2)
        double prurez = Math.PI * 0.445 * 0.445 / 4;
        //vypočet hustoty vzduchu (kg/m)
        double hustota = (1 / 286.78708) * (101325) / (273.15 + teplota);
        //vypočet rychlosti proudění (m/s)
        double rychlost = hustota * Math.Sqrt(tlak);
        //vypočet průtoku (m3/h)
        double prutok = rychlost * prurez * 3600;
        //ořezání na 2 des. místa
        string prutok1 = String.Format("{0:0.##}", prutok);

        return prutok1;
    }
}
```

---

Výpis 2: Ukázka výpočtu průtoku ze třídy Mereni

## 6 Návrh softwaru pro Apple iPhone

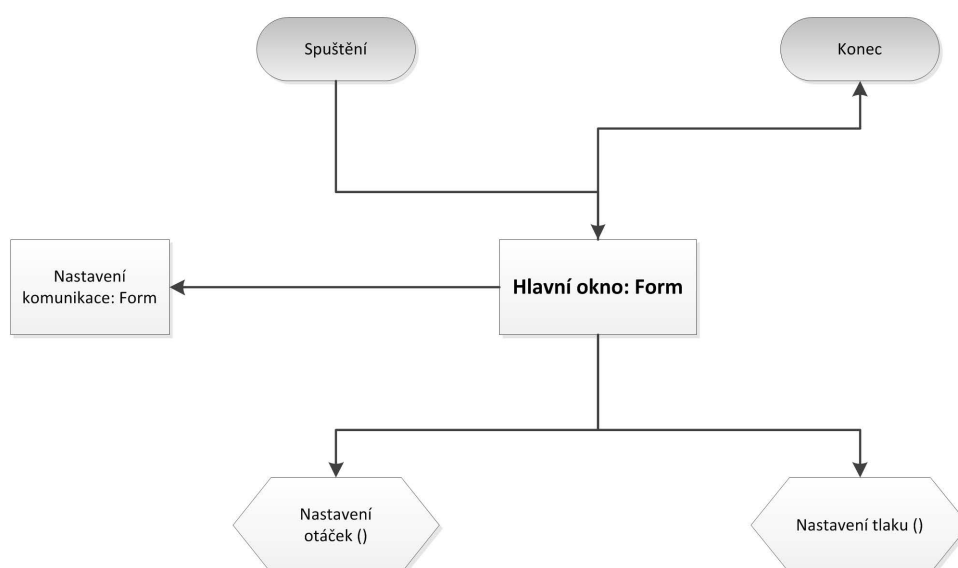
Protože navržené zařízení obsahuje modul pro bezdrátovou komunikaci pomocí technologie WIFI, vytvoříme aplikaci pro nejrozšířenější smartphone, konkrétně iPhone od firmy Apple. Pro vývoj softwaru pro tento mobilní telefon jsou nyní dvě možnosti:

- Jazyk Objective C na operačním systému MacOS od firmy Apple,
- vývojové prostředí Adobe Flash CS5, které obsahuje balíček pro vývoj aplikace pro iPhone. Skript je psán v jazyku ActionScript a tento nástroj je dostupný pro operační systém Windows i MacOS.

Zvolili jsme nástroj FlashCS5, protože je dostupný pro operační systém Microsoft Windows. Nástroj FlashCS5 stojí ve verzi PRO CZ 15 381,- ale je možné stáhnout zdarma 30 denní verzi na vyzkoušení a pracovat v této verzi.

Software vytvořený v prostředí FlashCS5 je postaven na jazyce ActionScript (zkratka AS), což je objektově orientovaný programovací jazyk. Pomocí ActionScriptu se dají vytvářet komplexní internetové aplikace nebo i animace. ActionScript vychází ze standardizované verze jazyka JavaScript, nazvané ECMAScript.

Možnosti softwaru pro mobilní zařízení jsou znázorněny na Obrázku 18.



Obrázek 18: Vývojový diagram softwaru pro iPhone .

## 6.1 Seznam funkcí softwaru

- Zobrazit naměřené údaje (tlak, teplota venku, teplota uvnitř, průtok),
- možnost nastavit otáčky ventilátoru, nalézt automaticky otáčky pro nastavený tlak a tuto hodnotu udržovat,
- komunikace se zařízením pomocí bezdrátové technologie WIFI,
- možnost změny směru otáčení ventilátoru.

Po vytvoření programu je pomocí tohoto nástroje program zkompileován a vytvořen soubor .ipa, který je možno pomocí nástroje iTunes nahrát přímo do iPhoneu. Pro vývojáře, vlastníci vývojářský účet u firmy Apple, je možno software poslat na schválení do firmy Apple. Po schválení se objeví v aplikaci App store. Tuto možnost jsme nezvolili, jelikož vývojářský účet nemáme a pro tuto práci není toto nutné.

Před spuštěním programu je nutné se nejdříve připojit k WIFI síti měřícího zařízení s názvem AMTS. Po připojení dojde k automatickému přidělení IP adresy z DHCP serveru zařízení.

## 6.2 Ukázka uživatelského rozhraní

Při návrhu uživatelského rozhraní jsme se snažili zachovat vzhled z programu AMTS pro MS Windows.



Obrázek 19: Uživatelské rozhraní hlavního okna a nastavení

Pro výběr režimu nastavení otáček nebo nastavení tlaku zvolíme radiobutton. Hodnotu je možné zadat pomocí TextBoxu a také je možné tuto hodnotu nastavit vertikálním scrollbar. Pro přesnější uchopení ovládacího prvku scrollbaru jsme tento kulatý prvek pro posunutí zvětšili a jeho velikost nastavili o 10px větší. Toto okolí 10px není vidět, ale je možné ho uchopit i tam.

---

```
package
{
    public class main2 extends MovieClip
    {
        function hledejTlak() :void{
            if ( ( aktualni_tlak < (tlak - tolerance)) || ( aktualni_tlak > (tlak + tolerance)) )
            {
                aktualni_tlak = Number(label_tlak.text);

                if ( aktualni_tlak < tlak )
                {
                    Otacky = Otacky + (1500 - Otacky) / 2;
                }
                else
                {
                    Otacky = Otacky - (Otacky) / 2;
                }

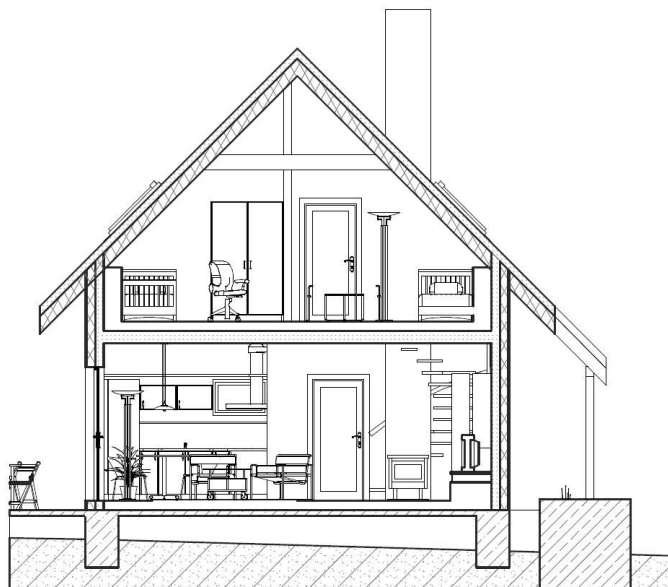
                label_otacky.htmlText = String(Otacky);
                motor_otacky(String(Otacky));
            }
            else {
                myDelay.stop();
            }
        }
    }
}
```

---

Výpis 3: Ukázka funkce hledejTlak()

## 7 Měření v praxi

Měření bylo provedeno na rodinném domě o výměře 110,17m<sup>2</sup> (Obrázek 21). Jedná se o nízkoenergetickou dřevostavbu vystavěnou s použitím technologie KLH. Hlavní vstup se nachází na severní straně. Na jižní straně domu se nachází francouzská okna. Střecha domu je klasická sedlová se sklonem 45°. Řez domu najdeme na Obrázku 20. Na východní a západní straně jsou 2 okna středních rozměrů. Větrání je navrženo přirozené a vytápění je v tomto domě realizováno pomocí podlahového vytápění elektrickou energií. Hlavní nosné konstrukce tvoří panely KLH z masivního dřeva o tloušťce 94mm. Skladba domu je následující:



Obrázek 20: Řez domem

### Podlaha:

- plovoucí podlaha nebo koberec,
- anhydridový potěr,
- dřevovláknitá podkladová deska 15 mm,
- šterková vrstva vysoká 160 mm,
- asfaltová hydroizolace,
- podkladní beton.

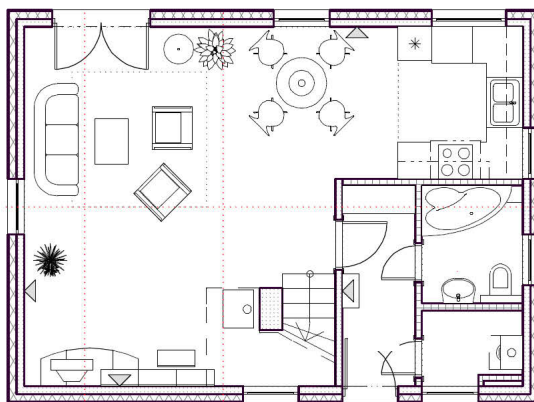
**Stěna:**

- KLH panel o tloušťce 94mm,
- vnitřní obklad ze sádkartonových desek o tloušťce 12,5 mm,
- vnější zateplení provedeno dvěma vrstvami lisované vaty o celkové tloušťce 360 mm.

**Střecha:**

- vnitřní obklad ze sádkartonových desek,
- parozábrana z fólie lehkého typu,
- krokve, mezi krokvemi tepelná izolace z minerálních vláken,
- pojistná hydroizolace,
- skládaná pálená krytina.

Střecha obsahuje 4 střešní okna značky Velux, které při měření prokázaly svou vyhovující těsnost. Pro výpočet intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi interiérem a exteriérem je třeba znát objem budovy ohraničený vzduchotěsními vrstvami, tj. parozábrany střechy, obvodovými stěnami a betonovou podkladní deskou.



Obrázek 21: Půdorys přízemí

- vnitřní objem  $276,17\text{m}^3$ ,
- plocha podlaží  $110,17\text{m}^2$ ,
- plocha obálky budovy  $210,88\text{m}^2$ ,

Údaje byly spočítány podle projektové dokumentace domu.

## 7.1 Příprava měření

Měření bylo provedeno na hotovém domě. Cílem měření bylo zjistit těsnost objektu a investorovi prokázat kvalitně odvedenou práci. Před zkouškou jsme utěsnili všechny otvory, které nemají ovlivnit měření, a to digestoř a krb (Obrázek 22). Zkontrolovali jsme uzavření všech oken a dveří.



Obrázek 22: Utěsnění krbu a digestoře

### Instalace měřícího zařízení:

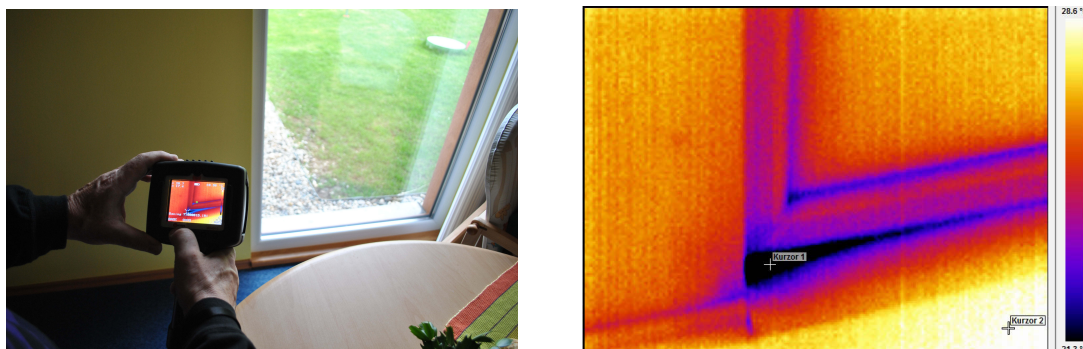
Zařízení je nutné nainstalovat do dveří umístěných v obálce objektu. Zvolili jsme vstupní dveře, do kterých jsme nainstalovali teleskopický rám s plachtou zabraňující výměně vzduchu. Do připraveného otvoru v plachtě jsme nasunuli měřící zařízení. Tím jsme docílili výměny vzduchu pouze přes potrubí ventilátoru, okolí ventilátoru bylo utěsněno. Hadičku od tlakového senzoru pro měření rozdílu tlaku mezi interiérem a exteriérem jsme připojili k připravené průchodce uprostřed plachty.

Na začátku měření jsme spustili ventilátor a vyzkoušeli rozsah podtlaku, který jsme schopni ventilátorem v této budově vytvořit. Poté jsme měřící zařízení nechali vytvořit rozdíl tlaku mezi interiérem a exteriérem 50 Pa a tuto hodnotu zařízení udržovalo po dobu 15 minut. Protože byl rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem 20 °C, byla tato doba dostatečná k ochlazení netěsných míst v interiéru studeným vzduchem. K odhalení netěsnosti následovalo měření interiéru termovizní kamerou. Po skončení kontroly termovizní kamerou byl proveden automatický test měřícího zařízení, který byl proveden dvakrát a vytvořen protokol o měření. Závislost objemového toku na tlakovém rozdílu je uvedena v grafu na Obrázku 24.

## 7.2 Vyhodnocení výsledků

Byly odhaleny malé netěsnosti při napojení střešních oken Velux k parozábraně, dále se prokázala netěsnost u rohů prahů plastových oken (Obrázek 23). Celková těsnost objektu a napojení konstrukcí vypadala velice dobře. Pokud vydělíme střední hodnotu objemového toku  $940\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  získanou extrapolací z naměřeného grafu při rozdílu tlaku 50 Pa



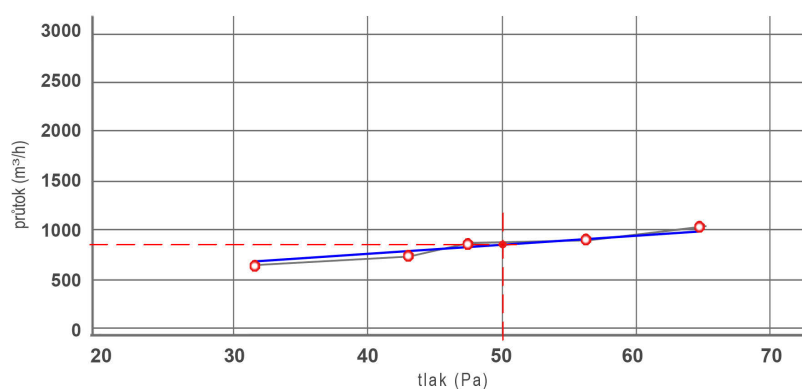


Obrázek 23: Netěsnost u prahu francouzského okna

objemem domu  $276,17\text{m}^3$ , dostaneme násobnost výměny vzduchu  $3,4\text{h}^{-1}$ . Naměřená hodnota splňuje doporučenou hodnotu v ČR pro budovy s přirozeným větráním.

#### Naměřené a vypočtené údaje:

- intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa 3,4,
- intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaku 4 Pa 0,5,
- objemový průtok  $940\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  při rozdílu tlaku 50 Pa,
- teplota vzduchu v interiéru  $2,5^\circ\text{C}$ ,
- teplota vzduchu v exteriéru  $22,7^\circ\text{C}$ ,
- náklady na energetickou ztrátu 10 384 Kč



Obrázek 24: Naměřená charakteristika těsnosti objektu.

## 8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit zařízení a software pro automatické měření těsností objektu. Informace jsem čerpal především z internetových zdrojů. V jednotlivých částech jsem specifikoval požadavky na měřicí zařízení, popsal vliv těsnosti objektu na energetiku a výhody splňující vzduchotěsnost. Také jsem prověřil legislativu spojenou s tímto měřením.

Diplomovou práci jsem rozdělil na několik částí. V první části jsem popsal problematiku vzduchotěsnosti, ověření kvality a nalezení defektu. Navrhl jsem vhodné komponenty pro měřicí zařízení. V další části jsem sestrojil elektroniku a celé měřicí zařízení. Tato část byla pro mě nejnáročnější a doladění zařízení mi zabralo nejvíce času. V předposlední části jsem se věnoval analýze a vývoji softwaru pro operační systém Microsoft Windows a mobilní telefon iPhone od firmy Apple. K vývoji softwaru pro Windows jsem použil Framework .NET, ve kterém bylo psaní aplikace velice komfortní. Tato aplikace umožňuje provést měření automaticky, a kromě uložení výsledku do datového souboru umožňuje také vygenerovat protokol ve formátu Pdf. Funkcionalita aplikace pro iPhone je omezená pouze na základní ovládání zařízení a zobrazení provozních údajů ze senzorů.

Cíl diplomové práce byl splněn, zařízení bylo otestováno v praxi a měření objektu v praxi je popsáno v poslední kapitole. K systému byla vytvořena také uživatelská příručka, která je v přílohách na přiloženém CD z důvodu omezeného rozsahu diplomové práce.

## 9 Reference

- [1] Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj 137/1998Sb. o obecných technických požadavcích na výstavbu
- [2] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2
- [3] ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda
- [4] ČSN 383350 Zásobování teplem, všeobecné zásady, příloha 4
- [5] Ing. Jaroslav Mikan MĚŘENÍ PLYNU, Říčany u Prahy 2003
- [6] Zwiener V.: Měření těsnosti budov metodou tlakového spádu Dektime, č.05-06/2006 str. 62-65
- [7] LGPL. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24.7.2005, last modified on 2. 4. 2011 v 17:47. [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LGPL>.
- [8] Úvod do .NET Frameworku. .NET Framework od začátku [online]. 3. 4. 2009 13:55 , 1, [cit. 2011-04-18]. Dostupný z WWW: <http://www.vbnet.cz/clanek-125-uvod-do-net-frameworku.aspx>.
- [9] Application Note for SDP600 Series differential pressure sensors [online]. Switzerland : [Www.sensirion.com](http://www.sensirion.com), 2009 [cit. 2011-05-04]. Compensation of pressure drop in a hose, s. . Dostupné z WWW: [http://www.sensirion.com/en/pdf/product\\_information/AN\\_spd6x0\\_differential-pressure-sensors\\_pressure-drop-in-hose.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/AN_spd6x0_differential-pressure-sensors_pressure-drop-in-hose.pdf).

## A Obsah přiloženého CD

Adresář	Obsah
\aplikace\	Spustitelná aplikace
\datasheet\	Elektrodokumentace měřících senzorů a součástek
\dokumentace\	Uživatelská příručka k softwaru
\mereni\	Fotodokumentace měření v praxi
\text\	Text diplomové práce v PDF formátu
\vykresy\	Technická dokumentace z výroby zařízení
\zdrojove_kody\	Zdrojové kódy

Tabulka 5: Obsah přiloženého CD

## **B Protokol z měření**